Über die Art und Grösse der Fehler, die bei Schwingungsbeobachtungen an einem Magneten durch die mitschwingenden Luftmassen entstehen

---

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde genehmigt von der
Philosophischen Fakultät der
Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Alexander Burger
aus Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 27.6.35
Tag der Promotion: 16.10.35

1 9 3 5

Druck: Reinhold Kühn A. G., Berlin SW 68, Kochstraße 5

1060/35

315

Referenten: Prof. Dr. Bartels
Prof. Dr. v. Ficker

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Ueber die Art und Grösse der Fehler, die bei Schwingungsbeobachtungen an einem Magneten durch die mitschwingenden Luftmassen entstehen.

Unter den klassischen Methoden zur Bestimmung der Komponenten des Erdmagnetismus sind die Schwingungsbeobachtungen die einzigen, bei denen es sich nicht um mechanisch wie elektromagnetisch statische bzw. stationäre Zustände handelt. Vielmehr kommen hierbei mechanisch dynamische Vorgänge zur Beobachtung. Bei Vorgängen dieser Art muß man den hier auftretenden hydrodynamischen Nebeneffekten volle Beachtung schenken. Während auf anderen Gebieten der Physik (Pendelmessungen) solche Korrektionen gut durchforscht sind und dauernd berücksichtigt werden, liegen die Dinge bei den magnetischen Schwingungsbeobachtungen anders. Hier gibt es im wesentlichen nur zwei Arbeiten, die sich mit diesen Fragen befaßt haben: Lamont[1]) und Watson[2]). Trotz dieser Untersuchungen haben die hydrodynamischen Nebeneffekte bis heute noch keine Berücksichtigung gefunden. Wenn auch ohne weiteres zugegeben werden soll, daß diese Effekte bei den magnetischen Schwingungen nicht die wichtige Rolle spielen wie etwa bei den Pendelschwingungen, so muß doch andererseits berücksichtigt werden, daß nicht in allen Fällen zu vernachlässigende Korrektionen auftreten. Die im folgenden mitgeteilte Untersuchung liefert einen Beitrag zur Klärung dieser Fragen und wird zeigen, welcher Art und von welcher Größe die hier begangenen Fehler sein können.

Die Schwingungsdauer eines Magneten mit dem Trägheitsmoment K und dem magnetischen Moment M ist unter gewissen vereinfachenden Annahmen gegeben durch die Beziehung

$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{MH + D}}. \qquad (1)$$

Darin bedeuten H die Horizontalintensität des erdmagnetischen Feldes und D die Torsionskonstante des Fadens.

Die folgenden Messungen beschäftigen sich nun ausschließlich mit dem mechanischen Teil der Gleichung (1). Vor allem handelt es sich darum, die Veränderungen von K zu bestimmen, die bei der

[1]) Poggend. Ann. d. Physik. 1847. Bd. 71.
[2]) Proc. of the Phys. Soc. London, Vol. XIX.

Bewegung des Magneten durch ein widerstehendes Medium (Luft) auftreten. Hier sind nun mehrere getrennte Probleme zu behandeln:

1. Die Zunahme des Trägheitsmomentes ($\triangle$ K) für ein und denselben Magneten bei Schwingungen im lufterfüllten Raum gegenüber dem aus Abmessungen und Gewicht errechneten Wert K_0, der in voller Strenge nur bei Schwingungen im Vakuum Gültigkeit hat. Die Beantwortung dieser Frage liefert folgende erdmagnetisch interessanten Resultate:
   a) die Größe des Fehlers, die begangen wird, wollte man in (1) das errechnete K_0 des Magneten einsetzen;
   b) den Einfluß, den die Extremwerte der natürlichen Luftdruckschwankungen auf die Messungen haben können;
   c) die Korrektion, die bei Schwingungsbeobachtungen in stark verschiedenen Höhen (Gebirgsmessungen) infolge der zunehmenden Luftverdünnung zu beachten ist.
2. Die Abhängigkeit des $\triangle$ K ein und desselben Magneten von der Größe der Schwingungsdauer. Diese Untersuchung ist erdmagnetisch wichtig in zwei Fällen:
   a) bei Schwingungsbeobachtungen mit demselben Magneten an Stellen sehr verschiedener Horizontalintensität (z. B. auf Polarexpeditionen der Unterschied zwischen Anschlußstation und Polarstation), wobei erhebliche Änderungen in T auftreten können.
   b) bei Bestimmung des Trägheitsmomentes eines Magneten durch Schwingungsbeobachtungen mit und ohne Belastung. Auch hier tritt durch die Belastung eine — natürlich absichtlich herbeigeführte — erhebliche Vergrößerung der Schwingungsdauer auf.
3. Die weitere Abhängigkeit des $\triangle$ K von der Form, insbesondere von der Länge bei verschiedenen Magneten. Erdmagnetisch von Bedeutung wird diese Abhängigkeit bei der Verwendung von unmagnetischen Trägheitsstäben bei der Trägheitsmomentbestimmung eines Magneten, wenn der Stab z. B. bei röhrenförmigen Magneten aus dem Magneten herausragt.
4. Die Abhängigkeit des $\triangle$ K von der Größe des Abstandes Magnet—Wand des Schwingungskastens.

Diese letzte Frage, die von etwas untergeordneter Bedeutung ist, konnte in der hier mitgeteilten Arbeit noch nicht behandelt werden. Es ist in Aussicht genommen, die Messungen später noch in dieser Hinsicht zu ergänzen.

Bei der Behandlung aller dieser Fragen ist es sehr vorteilhaft, sich unmagnetischer Körper zu bedienen. Die hier zur Beobachtung gelangenden rein mechanischen Vorgänge spielen sich bei magneti-

schen und unmagnetischen Körpern in derselben Weise ab, so daß die Verwendung von Magneten aus naheliegenden Gründen (Variation von H und M) die Untersuchungen nur komplizieren würde. Eine Veränderung der Schwingungsdauer ein und desselben Schwingungskörpers hat man durch Variation der Dicke des benutzten Aufhängefadens leicht in der Hand.

Der experimentelle Hauptteil der Untersuchung besteht nun also darin, Schwingungskörper verschiedener Dimensionen bei verschiedenen Drucken zu beobachten und die Änderungen der Schwingungsdauern mit der erforderlichen Exaktheit zu ermitteln.

Die heute im allgemeinen erstrebte Grundgenauigkeit bei erdmagnetischen Messungen beträgt 10^{-5} Γ wobei 10^{-6} Γ als Rechenstelle noch mitgenommen wird. Hiermit ist eine Mindestforderung nach der Sicherheit der nun folgenden T- und K-Bestimmung verbunden.

Formelmäßig folgt dieser Zusammenhang aus (1) unter Vernachlässigung von D in folgender Weise:

$$\frac{dT}{T} = \frac{1}{2}\frac{dK}{K} = -\frac{1}{2}\frac{dH}{H}. \qquad (2)$$

Setzt man für T, H und K in (2) die nachstehend genannten abgerundeten Werte:

$T = 4$ sec., $K = 2.10^2$ cm² g und $H = 0.2$ Gauss ein, so führt dies auf ein d T von ungefähr 10^{-4} sec. und ein entsprechendes d K von 10^{-2} cm² g.

Zur Durchführung der Versuche stand ein evakuierbarer zylindrischer Schwingungskasten mit seitlichen Glasabdeckungen, die gleichzeitig zur Beobachtung der Vorgänge im Innern dienten, zur Verfügung. Das an einem Quarzfaden befestigte Gehänge zum Einlegen der Stäbe trug unterhalb der Einlagerung einen Würfelspiegel. Derselbe diente zur Übertragung der Schwingungen durch Reflexion des von einer Galvanometerlampe auffallenden Lichtkegels auf eine Photozelle, ferner zur Beobachtung der Lage der Stäbe im Gehänge vermittels Spiegelung einer Vertikalskala und endlich zur Spiegelung einer beleuchteten Horizontalskala zwecks Bestimmung der Schwingungsweite (Figur 1). Der Schwingungskasten stand in Verbindung mit einem U-förmigen Vakuummeterrohr und einer Pumpe zur Evakuation des Kastens bzw. zum Beschicken desselben mit Luft bis zu einer Atmosphäre Überdruck. Die Bestimmung der Schwingungsdauer wurde mit dem von G. Fanselau[3]) angegebenen Schwingungszähler durchgeführt, der gegenüber der üblichen Methode der individuellen Beobachtung (Aug- und Ohrmethode) innerhalb der geforderten Genauigkeit und darüber hinaus zuverlässige Ergebnisse liefert.

[3]) Zeitschrift für Geophysik, Jahrgang 9, Heft 1 und 2, 1933.

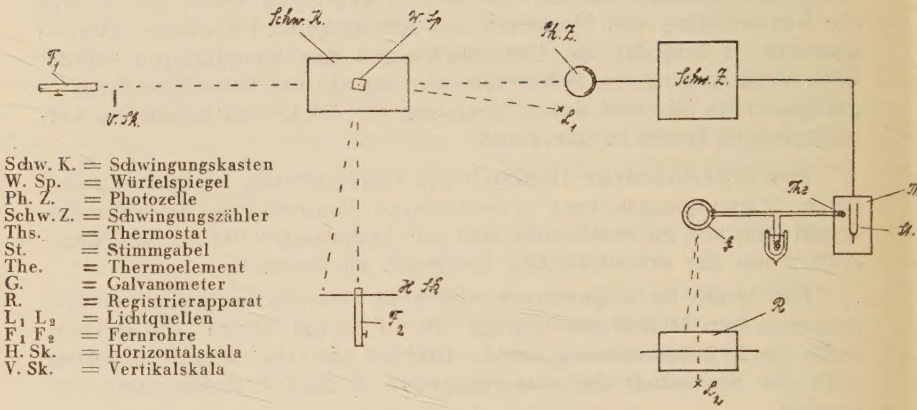

Fig. 1

Für die Schwingungsbeobachtungen wurden ausschließlich genau definierte Trägheitsstäbe benutzt, die im folgenden mit den Ziffern 1 bis 5 bezeichnet wurden. Die früher im Potsdamer Observatorium verwendeten Stäbe 1 und 2 sind Vollzylinder aus Bronze, deren Abmessungen und Trägheitsmomente durch die Normal-Eichungskommission bestimmt wurden (Tabelle 2). Stab 3 ist ein neuerer Bronzestab des Potsdamer Observatoriums, dessen Daten einem Protokoll der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt entnommen sind. Stab 4 stellt eine Nachbildung von dem für die absoluten Messungen im Observatorium in Niemegk verwendeten Magneten M_2 dar mit gleichen äußeren Maßen (Durchmesser und Länge) sowie annähernd gleichem Trägheitsmoment. Zur Vervollständigung der Meßreihen wurden ferner Untersuchungen an einem Messing-Stab (Nr. 5) durchgeführt, der im Laboratorium des Potsdamer Observatoriums hergestellt wurde.

Der Vergleich einzelner Meßreihen setzt voraus, daß unter gleichen Versuchsbedingungen gearbeitet wurde oder daß den einzelnen Messungen zwecks Reduktion auf eine einheitliche Basis Korrektionen angefügt werden. Aus der Größe der Zeitspanne über 15 bis 30 Stunden für eine Versuchsreihe ergibt sich zwangsläufig die Einführung von Korrektionen, bei denen zwischen 2 Gruppen zu unterscheiden ist. Die eine Gruppe bezieht sich auf alle Zustände und Änderungen innerhalb des Schwingungskastens, während die andere Gruppe alle Faktoren umfaßt, denen der Schwingungszähler in Verbindung mit der stimmgabelgesteuerten Synchronuhr unterworfen ist.

Innerhalb des Schwingungskastens ist zunächst die richtige Einlagerung der Stäbe in dem Gehänge von Wichtigkeit. Unter der Voraussetzung der Homogenität des Materials muß derjenige Zustand

Trägheitsstäbe.

Stab	Material	Abmessungen	Trägheitsmoment	Gewicht
No. 1	Bronze	$l = 19.9942$ cm $\varnothing = 0.9853$ cm	4517.9_0 cm²g	135.36_8 g
No. 2	Bronze	$l = 18.9967$ cm $\varnothing = 0.9834$ cm	3859.5_4 cm²g	128.08_2 g
No. 3	Bronze	$l = 9.976$ cm $\varnothing = 0.992$ cm	545.6_5 cm²g	65.307 g
No. 4	Kupfer	$l = 7.449$ cm äuss. $\varnothing = 1.592$ cm inn. $\varnothing = 1.053$ cm	351.7_0 cm²g	72.489 g
No. 5	Messing	$l = 16.00$ cm $\varnothing = 1.00$ cm	2258.4 cm²g	
Originalmagnet M_2	Stahl	$l = 7.451$ cm äuss. $\varnothing = 1.600$ cm inn. $\varnothing = 0.998$ cm	347.67 cm²g	ca. 73 g
Gehänge	Messing und Glas	—	9.98 cm²g	20.433 g

Tabelle 2

angestrebt werden, bei dem die Schwingungsachse durch den Schwerpunkt des Stabes und des Gehänges verläuft. Macht man die obige Annahme, so ist dieser Zustand erfüllt, wenn der Stab genau horizontal eingelagert ist. Für diese Stellung gilt denn auch das aus den Abmessungen zu errechnende Trägheitsmoment. Die Abhängigkeit desselben von der Stellung des Stabes bei verschiedener Einlagerung zeigt eine Versuchsreihe mit dem Stab Nr. 1 (Kurve 3).

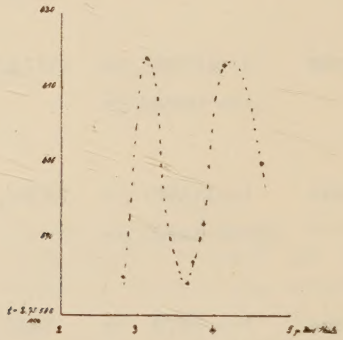

Fig. 3. Schwingungsdauer eines Stabes in Abhängigkeit von der Einlagerung.

Erwartungsgemäß ergibt die horizontale Lagerung mit Unterstützung im Schwerpunkt ein Minimum für das Trägheitsmoment bzw. die Schwingungsdauer. Die schiefe Einlagerung führt nach beiden Seiten entsprechend der Zunahme des Trägheitsmomentes zum Anwachsen der Schwingungsdauer.

Die Methode, nach der die Stäbe in die Aufhängung eingelagert wurden, bestand zunächst darin, die tiefste Mantellinie des zylindrischen Schwingungskastens auf die horizontale Lage einzustellen und danach den Stab so einzulegen, daß seine beiden freien Enden zu dieser Mantellinie gleichen Abstand aufwiesen. Diese sorgfältig ermittelte Stellung wurde dann durch Spiegelung der oben genannten Vertikalskala im Okular eines Fernrohres abgelesen und während der Untersuchungen auf etwaige Änderungen überprüft. Die bei diesen Beobachtungen erhaltenen Zahlenwerte ergaben nur geringe Werte der Standverschiebung (etwa 2'), so daß praktisch keine Änderung der Stablagerung angenommen werden konnte.

Hinsichtlich der Amplitude bei den Schwingungen mit den verschiedenen Stäben wurde darauf gehalten, daß alle Meßreihen mit gleicher Schwingungsweite begonnen wurden. Der Winkel der zu Beginn der Messungen erreichten Elongation betrug etwa 1.2°, wurde also weit unterhalb der Grenze gehalten, bis zu der die Schwingungsdauer von der Amplitude unabhängig bleibt. Da der Schwingungs-

kasten mit Rücksicht auf die verlangte Druckkonstanz ein in sich geschlossenes System darstellt, so wurde das Anschwingen der Stäbe durch Drehung des ganzen Kastens um einen kleinen Winkel eingeleitet, wobei eine Feder mit Anschlag dafür Sorge trug, daß der Kasten in seine alte Ruhestellung zurückging.

Ist für die Dauer der Beobachtung die Temperatur im Schwingungskasten nicht gleichbleibend, so ändert sich mit ihr das Trägheitsmoment des Stabes und die Torsionskraft des Quarzfadens. Steigende Temperatur verändert das Moment und die Torsion im gleichen Sinne; in bezug auf die Schwingungsdauer wirkt sie jedoch gegensinnig, und zwar ist der Einfluß der Temperatur auf das Trägheitsmoment der Stäbe gegeben durch die Beziehung:

$$d K = 2 \alpha K d t \qquad (3)$$

wobei α den Ausdehnungskoeffizienten bedeutet.

Für den Temperaturkoeffizienten der Torsion von Quarzfäden geben einzelne Autoren folgendes an:

Threlfall[4])	0.000 127 pro Grad
Franck Horton[5])	0.000 123 pro Grad
A. Schmidt[6])	0.000 11 pro Grad

Unter der Annahme eines mittleren Temperaturkoeffizienten mit 0.00012 lautet dann die Änderung der Schwingungsdauer in bezug auf die Änderung der Torsion:

$$d T = - \frac{T}{2} \quad 0.00012 \text{ sec pro Grad.} \qquad (4)$$

Auch beim Ablauf der Vorgänge im Schwingungszähler ist der Einfluß des Temperaturganges zu berücksichtigen. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Frequenz der Stimmgabel, die zur Steuerung des Röhrengenerators dient, ab und verzögert damit den Gang der Synchronuhr. Die mittels dieser aufgenommenen Zeiten für die Halbschwingungen der Stäbe zeigten deutlich eine Abhängigkeit von der Temperatur der Stimmgabel. Der Temperaturkoeffizient der letzteren wurde bestimmt zu 10.9×10^{-5} sec. bzw. zu 11.5×10^{-5} sec. pro Grad und Sekunde (Kurve 4). Der hierbei sich zeigende geringe Unterschied gegenüber den Werten von G. Fanselau mit 20×10^{-5} sec. ist durch mechanische Änderungen im Einbau der Stimmgabel bedingt.

Eine weitere Abhängigkeit ergibt der Gang der Synchronuhr bei Änderungen des Anodenstromes im Stimmgabelgenerator. Der Unterschied ist relativ gering, wurde jedoch bei der Auswertung der Messungen mit 2.3×10^{-5} sec. pro MA und Sekunde den Ergebnissen als Korrektion angefügt (Kurve 5).

[4]) Phil. Magazin, London Vol. XXX, Nr. 182. 1890.
[5]) Proc. of the Royal Soc., Vol. 74, Nr. 504.
[6]) Ergebn. d. magn. Beob. in Potsdam, 1908.

○ Ergebnisse vom 5. Oktober 1934.
× Ergebnisse vom 3. Dezember 1934.

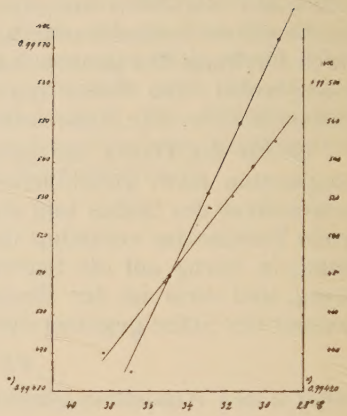

Fig. 4.
Temperaturkoeffizient der Stimmgabel.

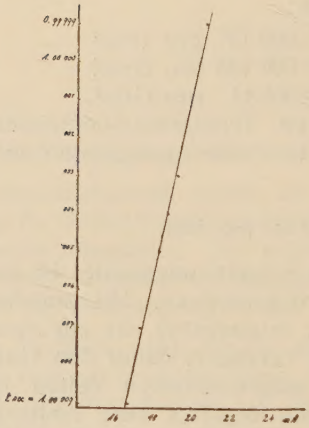

Fig. 5.
Korrektion auf const. Anodenstrom.

Die Untersuchungen mit dem Fanselauschen Schwingungszähler haben gezeigt, daß hier größere Genauigkeiten erzielt werden als mit der bereits oben genannten „Aug- und Ohrmethode". Die einzelne Messung gestattet eine Ablesung auf 10^{-2} sec., geschätzt auf 10^{-3} sec., so daß bei 100 Schwingungen die Zeitbestimmung für die einzelne Messung bis auf 10^{-5} sec. genau ausgeführt werden kann. Zwecks Reduktion der in Synchron-Sekunden gemessenen Ergebnisse auf die internationale Zeiteinheit wurden zu Beginn und am Ende jeder Meßreihe Uhrenvergleiche ausgeführt; diese bestanden darin, die Schwingungen einer Uhr mit Sekundenpendel (Lenzkirch) auf das Schwingungsrelais in gleicher Weise zu übertragen, wie die Schwingungen der Trägheitsstäbe (Photozelle). Die Uhrenvergleiche geben das Resultat von 100 Pendelschwingungen — d. i. in einer Zeit

von nicht ganz 2 min. — mit einer Genauigkeit von ungefähr 3.10 sec. pro Schwingung an (Tabelle 6). Gleichzeitig wurde der tägliche Gang der Pendeluhr durch Vergleich mit dem Zeitzeichen festgestellt, um die Beziehungen zwischen Synchron-, Lenzkirch- und Internationalen Sekunden zu vervollständigen.

Das Schwingungsverfahren bei den nun folgenden Untersuchungen bestand darin, daß beim Durchgang jeder 100. Halbschwingung eines Trägheitsstabes eine photographische Aufnahme von dem umlaufenden Lichtpunkt auf dem Zifferblatt der Synchronuhr im Fanselauschen Schwingungszähler gemacht wurde. Vier Aufnahmen lieferten durch Differenzbildung drei Werte für je 100 Halbschwingungen. Die Ablesung der Horizontalskala bei jeder 50. Halbschwingung vor der ersten und nach jeder Aufnahme ergab die jeweilige Amplitude. Während der Beobachtungen registrierte ein Spiegelgalvanometer mittels eines in das Innere eine Thermostaten hineinragenden Kupfer-Konstantan-Thermoelementes den Verlauf der Temperatur, welche für die im Thermostaten aufgestellte Stimmgabel gültig war. Vor Beginn und nach Beendigung eines Beobachtungssatzes (4 Aufnahmen) wurde ein in den Thermostaten eingesetztes Thermometer abgelesen und durch ein gleichzeitiges optisches Signal auf die Registrierung bezogen. Das bei jeder Aufnahme auf die Temperaturkurve gegebene Signal gab damit die Möglichkeit, bei der Auswertung der Ergebnisse die jeweilig gültige Temperatur mit hinreichender Genauigkeit (auf etwa 1×10^{-2} Grad) zu bestimmen (Kurve 7).

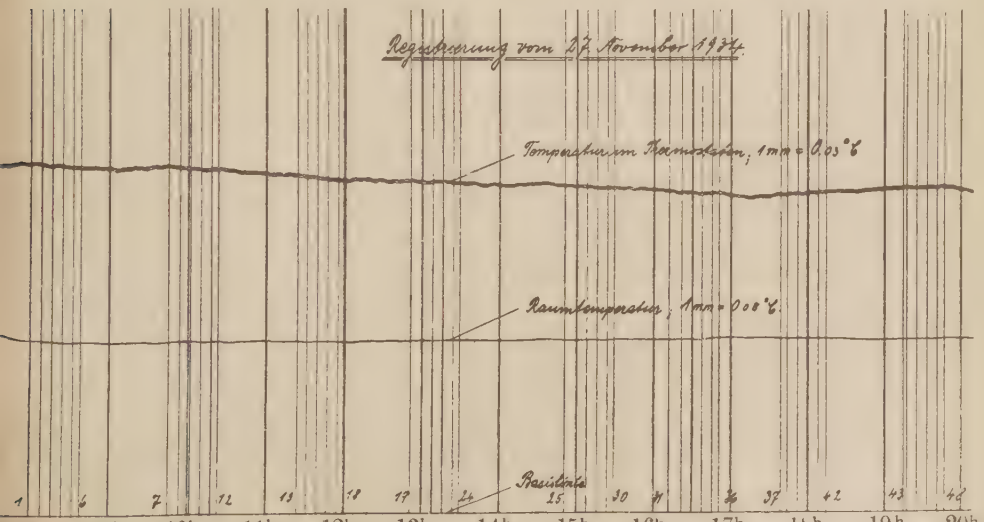

Fig. 7.

Uhrenvergleiche

Datum	T_{sec}	t^0 Stimmg.	$\triangle T$	$T_{korr.}$	
1934, Nov. 8	0.99546	31.02	$-11 \cdot 10^{-5}$	0.99535	531
„	538	31.02	−11	527	
Nov. 9	528	32.11	+ 1	529	528
„	525	32.11	+ 1	526	
„	528	32.21	+ 1	529	
Nov. 17	519	32.55	+ 6	525	530
„	530	32.55	+ 6	536	
„	523	32.55	+ 6	529	
Nov. 20	526	32.20	+ 2	528	529
„	525	32.20	+ 2	527	
„	531	32.20	+ 2	533	

Mittel: 0.99529_5 sec. = 1 Lenzkirch-sec.

Tabelle 6

Die Untersuchung über die Einwirkung des Luftdruckes auf die Schwingungen der Stäbe geschah durch Aufnahme mehrerer Beobachtungssätze innerhalb des Bereiches einer Atmosphäre Unterdruck und Überdruck in Abständen von 10 zu 10 cm Hg-Säule und durch Zusammenfassung der Sätze zu einer Beobachtungsreihe. Das Schema eines Satzes sowie das Ergebnis der Beobachtungsreihen (rund 800 photographische Aufnahmen) für mehrere Stäbe und verschiedene Schwingungsdauern zeigen die nachfolgenden Tabellen (8 und 9).

Trägt man die Werte der einzelnen Beobachtungssätze mit Berücksichtigung der Abhängigkeit von T auf p auf (Fig. 10), so erhält man für die einzelnen Meßreihen Kurven, die einen ähnlichen Charakter untereinander aufweisen. Allen Kurven ist zunächst der Verlauf vom Druck 0 bis etwa 470 mb gemeinsam. Der genannte Kurventeil hat dort parabolische Form, um mit zunehmendem Druck in einen linearen Teil bestimmter Neigung gegen die Abszisse überzugehen. Dieser lineare Teil sei so definiert, weil in seinem Bereich von etwa 470—2000 mb keine Krümmung enthalten ist. Die Unsicherheit in den einzelnen Ergebnissen der Torsionsschwingungen bringt es mit sich, daß auf diesem Teil eine Streuung der Werte bemerkbar ist; vor dem Vergleich dieser Schwingungsreihen untereinander wurden daher die Meßwerte einer Ausgleichung unterzogen.

Ein Kriterium für die Genauigkeit der einzelnen Messung wurde auf folgende Weise gewonnen. Von je drei Werten, deren Mittel — wie vorher näher auseinandergesetzt worden ist — einen Punkt der Meßreihe abgibt, wurde die Abweichung gegen eben dieses Mittel gebildet und der absolute Betrag dieser Zahl für alle solche Meßpunkte (ca. 325) gemittelt. Damit fand sich der Wert für die Genauigkeit mit 6×10^{-5} sec. Dieser Fehler vermindert sich jedoch bei aufeinanderfolgenden Messungen unter gleichbleibenden Bedingungen (des Druckes, der Temperatur sowie der Schwingungsdauer) auf ca. 3×10^{-5} sec., wie eine Meßreihe von zwölf hintereinanderfolgenden Aufnahmen zeigt (Tabelle 11). Die erhöhte Unsicherheit bei Messungen unter verschiedenen Bedingungen dürfte wohl in der Hauptsache ihren Grund in dem noch nicht völlig erreichten Ausgleich zwischen altem und neuem Zustand haben.

Wie man aus der Tabelle 9 ersieht, wurden mit jedem Stab Schwingungsbeobachtungen an zwei verschiedenen Fäden ausgeführt, mit Stab Nr. 5 sogar an drei Fäden. Dieses Beobachtungsmaterial ermöglicht es also, neben der Bestimmung der Veränderung der Schwingungsdauer mit dem Druck (gleichbedeutend mit einer Trägheitsmomentzunahme) Aufschluß über die Verschiedenheit dieser Trägheitsmomentveränderung zu erhalten in Abhängigkeit von der Schwingungsdauer und auch von der Länge der Beobachtungsstäbe. Errechnet man aus der Veränderung der Schwingungsdauer den

Schema eines Beobachtungssatzes (4 Aufnahmen)

Datum: 1934, November 10 — Faden: 0.28 ∅ mm Quarz.
Stab: grosser Trägheitsstab (Nr. 1) — Aufhängung: Würfelspiegel

	1	2	3	4	
Messung	5664	5665	5666	5667	
Schwingung	1550	1650	1750	1850	
Synchron Uhr	h m s 8.8.1.813	h m s 8.17.40.229	h m s 8.26.18. 641	h m s 8.34.57. 060	Abst. Spiegel-Skala = 143.1 cm
O-Punkt hor.	—			—	
„ vert.	4. 66 p			4.66 p	
Amplitude	25.75 / 19.59 } 1500	25.50 / 19.83 } 1600	25.28 / 20.07 } 1700	25.06 / 20.28 } 1800	24.87 / 20.48 } 1900
„ „					
Druck p	(—) { 90.65 / 30.90			(—) { 90.65 / 30.90	
Druck b	749 mm	—	—	749 mm	
Druck p_x	—	—	—	—	169mm=225 mb
M.E.Z.	12h 36m			13h 10m	
J_A Phot.Verst.	15.0 mA	—	—	15.0 mA	
„ Stimg.-Gen.	20.8 mA	—	—	20.8 mA	
J Thermostat	35.0 p			35 0 p	
V Heizung	3 85 V	—	—	3.85 V	
„ Anode	145 V	—	—	145 V	
„ Zelle	70 V	—	—	70 V	
t°C. Stimmg.	32.31°C 12h 30m			32. 32°C 13h 15m	
„ Beob.Raum	18.6 °C			18.8 °C	
„ Regist. „	18.7 °C			18.7 °C	
„ Schw.Kast.	18 3 °C			18.4 °C	
△Lenzkirch	+ 1.0 sec.			—	
T synchr.gem.		5. 18 416	412	419	
„ Mittel			5.18416 sec.	Korr. Faktoren:	
Korr. Stimmg.	$+18.9 \cdot 10^{-5}$ s			$11{,}57 \cdot 10^{-5} \times 5\ 186 \times \triangle T$	32°C
„ Anodenstr.	+ 9.5 „			$2{,}31 \cdot 10^{-5} \times 5.186 \times \triangle J_A$	20mA
„ Trägh.-Mom.	+ 6.5 „			$9{,}9 \cdot 10^{-5} \times \triangle T$	19°C
„ Torsion	−20 2 „			$31.1 \cdot 10^{-5} \times \triangle T$	19°C
Korrekt.			$+15 \cdot 10^{-5}$		
$\Sigma_{korr.}$ synchr. sec			5.18431	1 synchr. sec.= 1.00474 int. sec.	
„ intern. sec			5.20889 sec.		

Bezugsgrößen:

Ergebnis: T = 5.20 889 sec. bei 225 mb Luftdruck.

Tabelle 8.

Stab No. 1 — Faden 0.28 ∅ mm

p_b	b	p_x mm	p_x mb	$T_{korr.}$ und ausgeglichen
+ 79.35	74.90	1543	2057	5.21 254
+ 71.45	75.00	1465	1953	234
+ 60,65	75.60	1363	1816	208
+ 49.95	75.60	1256	1674	180
+ 40.55	75.60	1162	1549	160
+ 30.80	75.60	1064	1418	135
+ 21.10	74.30	954	1271	106
+ 10.15	74.30	845	1126	077
0	74.80	748	997	052
— 10,10	74.85	648	864	026
— 20,50	75,00	545	726	5.20 998
— 30.15	75.00	448	579	969
— 40.35	75.00	346	461	946
— 50.25	74.95	247	329	920
— 59.75	74.90	169	225	895
— 69.95	74.90	69	92	860
— 74.85	74.90	0	0	832

Tabelle 9a

Stab No. 1 — Faden 0.35 ∅ mm

p_b	b	p_x mm	p_x mb	T korr. u. ausgeglichen
+ 75.55	73.40	1490	1986	2.77 004
+ 65.25	73.40	1387	1849	2.76 994
+ 56.40	73.40	1298	1730	986
+ 45.75	73.40	1192	1589	976
+ 35 55	75.80	1114	1485	969
+ 25.45	75 80	1013	1350	960
+ 15.15	75.80	910	1213	951
+ 5.05	75.80	809	1078	941
— 4 90	75.80	709	945	932
— 16.05	75.80	597	796	922
— 25.25	75.80	505	673	913
— 34.35	75.95	416	555	905
— 43.95	76.25	323	431	897
— 54 85	75.95	211	281	886
— 63.95	76.00	120	160	874
— 75.15	76.25	11	15	845

Tabelle 9 b

Stab No. 2 — Faden 0.28∅mm

p^b	b	p_x mm	p_x mb	$T_{korr.\ und\ ausgegl.}$
+ 70.05	76.60	1467	1956	4.81 711
+ 60.25	76.55	1368	1822	695
+ 50.10	76.50	1266	1688	678
+ 40.00	76.40	1164	1552	662
+ 30.20	76·40	1066	1421	646
+ 19 85	76.35	962	1282	630
+ 10.05	76.48	866	1154	615
0	76.45	765	1020	599
— 10.05	76.50	664	885	583
— 20.25	76 50	562	749	566
— 30.25	76.50	462	616	548
— 40.10	76.55	365	487	530
— 50.05	76.60	265	353	508
— 60.15	76.60	164	219	489
— 70.15	76.60	64	85	466
— 76.05	76.60	5	6	449

Tabelle 9c

Stab No. 5

Faden:	p_b	b	p_x mm	p_x mb	T_{sec}
0.35 ∅	— 74.0	75.50	15	20	1.94 841
	— 30.1	75.50	454	605	873
	0	75.40	754	1005	884
0.28 ∅	— 75.95	75.95	0	0	3 70 567
	— 30.15	76.00	458	611	623
	0	76.00	760	1013	657
0,23 ∅	— 75.80	75.90	1	1	8.28 490
	— 30 35	75.90	455	607	690
	0	75.90	759	1012	743

Tabelle 9d

Stab No. 3. — Faden 0.14 ∅ mm.

p_b	b	p_x mm	p_x mb	T korr. und ausgeglichen
+ 79.45	77.25	1568	2090	11 08 850
+ 50.35	77.40	1278	1704	690
+ 25.25	77.40	1027	1369	560
0	77.30	773	1030	435
— 25.15	77.30	521	694	308
— 50.30	77.30	270	360	155
— 77.30	77.30	0	0	11.07 970

Tabelle 9 e

Stab No. 3 — Faden 0.21 ⌀ mm

p_b	b	p_x mm	p_x mb	$T_{korr.\ und\ ausgeglichen}$
+ 75.35	74.90	1503	2003	4.65 786
+ 65.45	76.05	1416	1888	774
+ 55.05	76.00	1311	1748	760
+ 44.90	76.15	1211	1614	747
+ 35.35	74,95	1103	1470	732
+ 25.35	75.05	1004	1338	719
+ 15.35	74.95	903	1204	706
+ 5.15	76.25	815	1086	694
— 5.05	76.30	712	949	680
— 15.10	76.30	612	816	668
— 24.95	76.40	514	685	656
— 35.25	76.45	412	549	643
— 45.25	76.50	312	416	625
— 55.35	76.55	212	283	606
— 65.45	76.60	111	148	578
— 76.15	76.70	5	7	552

Tabelle 9f

Stab No. 4. — Faden 0.14 ∅ mm

p_b	b	p_x mm	p_x mb	T korr. und ausgeglichen
+ 79 40	75.10	1545	2059	8.83 610
+ 64 90	74.40	1393	1857	525
+ 55.70	74.30	1300	1733	475
+ 45.35	74 20	1196	1594	420
+ 35 25	74.20	1095	1460	365
+ 25 25	74.10	994	1325	310
+ 15.00	74 20	892	1189	250
+ 5.05	74.00	791	1054	200
— 4.85	73.70	688	917	140
— 9.95	73.50	635	846	115
— 25.15	73 40	482	643	030
— 35.00	73.20	382	509	8.82 975
— 44 95	73.10	281	374	920
— 55.10	72.70	176	235	855
— 65.00	72.60	76	101	770
— 72.60	72.60	0	0	680

Tabelle 9 g.

Stab No. 4 — Faden 0.21 ∅ mm

p_b	b	p_x mm	p_x mb	T korr. und ausgeglichen
+ 78.80	76 30	1551	2067	3.71 127
+ 65.30	76 35	1417	1889	106
+ 55.25	76.40	1317	1756	083
+ 45.35	76.40	1218	1624	066
+ 35.15	76.40	1116	1488	047
+ 25 10	76.40	1015	1353	041
+ 15.20	76 40	916	1221	025
+ 5.15	76 45	817	1089	009
— 5.05	76.45	714	952	3 70 991
— 15 00	76 45	615	820	974
— 25 05	76.50	514	685	948
— 35.15	76.50	413	551	937
— 45.15	76.60	314	419	898
— 55.20	76.60	214	285	880
— 65.05	76.60	115	153	852
— 75.20	76.60	14	19	816

Tabelle 9 h

Trägheitsmomentzuwachs bei den verschiedenen Körpern und den verschiedenen Schwingungsdauern, so erhält man Zahlen, die in Tabelle 12 und Fig. 13 gegeben sind. Man erkennt eine Zunahme der Trägheitsmomentvermehrung mit zunehmender Schwingungsdauer, die — wie sich an Stab Nr. 5 zeigt — nahezu linear ist. Mit Hilfe der in Fig. 13 mitgeteilten Kurven kann man nun auch die Frage nach der Abhängigkeit der Trägheitsmomentvermehrung von der L ä n g e des Stabes beantworten. Nimmt man aus den fünf Kurven interpolatorisch für jeden Stab bei einer runden Schwingungsdauer (5 sec.) die Trägheitsmomentvermehrung $\triangle K$, so ergibt sich ein glatter Kurvenverlauf, der in Fig. 14 zu ersehen ist, mit einem von vornherein zu erwartenden ausgesprochen nicht linearen Verlauf. Daß sich Stab Nr. 4 (Nachbildung des Potsdamer Magneten) nicht so gut in den Kurvenzug einfügt, erklärt sich zwangslos aus der geometrischen Verschiedenheit dieses einen Stabes gegenüber den anderen vier Stäben (Hohlzylinder —Vollzylinder).

Die oben genannten Tabellen und die daraus gewonnenen Zahlen bilden nun die Grundlage für alle folgenden Betrachtungen.

Es handelt sich darum, auf die eingangs gestellten speziellen Fragen möglichst umfassende Antworten zu erlangen.

1 a. Daß man in (1) das errechnete, gleichbedeutend mit dem für das Vakuum gültige Trägheitsmoment des Magneten einsetzt, kommt

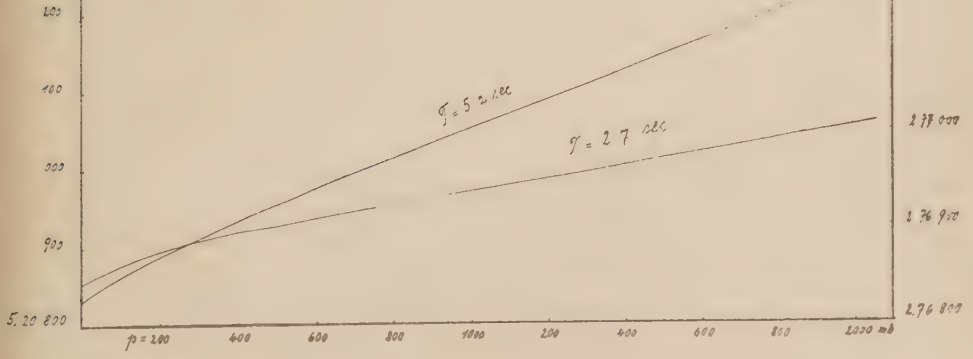

Fig. 10. Abhängigkeit der Schwingungsdauer vom Druck (Stab Nr. 1)

im allgemeinen nicht vor. Immerhin ist die Realisierung dieses Falles in experimentellen Spezialfällen durchaus denkbar. Auf alle Fälle aber ist es nicht uninteressant, die Größe dieses Fehlers einmal abzuschätzen. Benutzt man hierzu die Nachbildung des Potsdamer Magneten M_2 — Stab Nr. 4 — sowie die

Torsionsschwingungen : Stab 4.

Datum	$T_{sec.}$	t^0 Kasten	$\triangle T$	$T_{korr.}$
1935 Jan. 22	3.69084	18.90°C	+ 51	3.69 135 sec
„	084	„	+ 50	134
„	088	„	+ 50	138
„	088	„	+ 50	138
„	085	„	+ 50	135
„	086	„	+ 49	135
„	087	„	+ 49	136
„	083	„	+ 49	132
„	089	„	+ 49	138
„	080	„	+ 49	129
„	087	18.85 °	+ 49	136

Mittel : 3.69135_1 sec

Tabelle 11

Die Veränderlichkeit von △ T und △ K bei verschiedener Schwingungsdauer.

Stab	T_{sec}	△ T für 100 mb	△ T für 1 Atm.*	△ K*
No. 1	5.2	$20 . 10^{-5}$ sec	$220 . 10^{-5}$ sec	3.82 cm^2g
	2.7	7	93	3.04
No. 2	4.8	12	150	2.40
	2.5	4	60	1.81
No. 3	11.1	37	450	0.45
	4.6	10	135	0.32
No. 4	8.8	45	495	0.40
	3.7	14	185	0.36
No. 5	8.2	12	250	1.36
	3.7	9	100	1.21
	1.9	3	50	1.16

* bezogen auf Vakuum gegen 1 Atmosphäre Luftdruck.

Tabelle 12

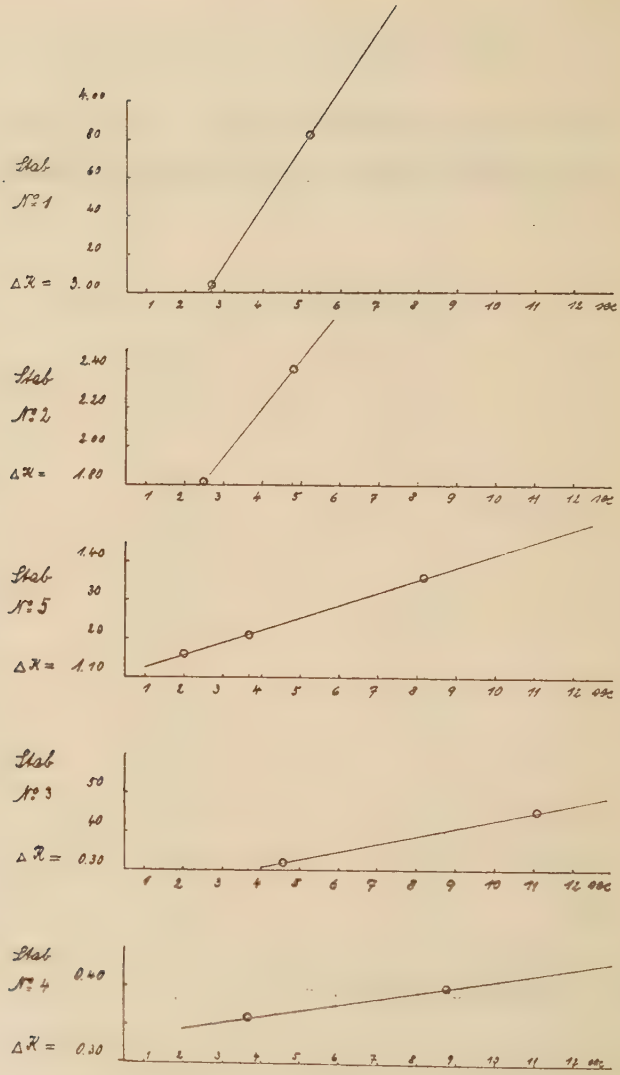

Fig. 13. Abhängigkeit des $\triangle$ K von der Schwingungsdauer.

für diesen Magneten bei einem mittleren H von 0.18 Gauss gültige Schwingungsdauer von 5 sec., so findet man durch Interpolation an der betreffenden Stelle der Tabelle ein $\triangle$ K von 0.37 cm ^{2}g und damit nach (2) ein $\triangle$ H von rund 18 γ.

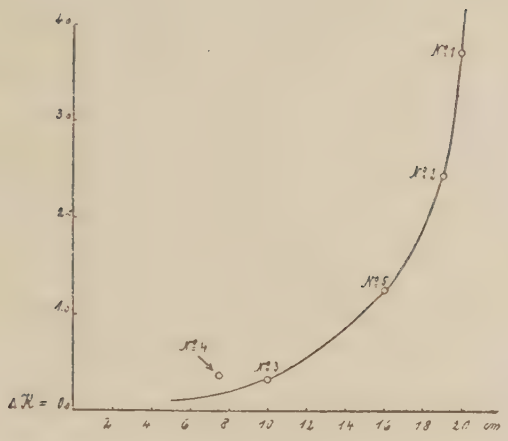

Fig. 11. Abhängigkeit des $\triangle$ K von der Stablänge bezogen auf T = 5 sec.

1 b. Von gleichfalls nicht allzutief eingreifender Bedeutung ist der Einfluß der Luftdruckschwankungen auf die absoluten H-Bestimmungen. Immerhin zeigt sich, daß bei den sorgfältigen absoluten Messungen, wie sie an einem Observatorium üblich sind, bei denen stets die 10^{-6} Gauss angegeben zu werden pflegen, diese Korrektionen eigentlich mitberücksichtigt werden müßten. Als Beispiel diene wieder das Observatorium in Potsdam. Nach den dortigen Aufzeichnungen sind für die größte Luftdruckschwankung rund 80 mb anzusetzen. Für T = 5 sec. gibt die Tabelle bei 100 mb $22 \cdot 10^{-5}$, für 80 mb also rund $18 \cdot 10^{-5}$ sec. Dies führt bei einem H-Wert von 0.18 Gauss auf ein $\triangle$ H von 1.3 γ.

1 c. Von wesentlich größerer Bedeutung ist der entsprechende Fehler bei Messungen in hohen Gebirgen, vor allen Dingen dann, wenn es sich nicht allein um die magnetische Vermessung von solchen Gebieten handelt, sondern auch um den Versuch, die Abnahme der Intensitätsgrößen der erdmagnetischen Kraft mit der Höhe festzustellen. Da dies bekanntlich kleine Beträge sind, müssen die Messungen sehr sorgfältig reduziert werden. So berichtet u. a. W. Brückmann in den „Beobachtungen in den Schweizer Hochalpen" über die Änderung der erdmagnetischen Kraft mit der Höhe, die in jenem Gebiet mit 11 bis 13 γ pro 1000 m angegeben wird. Die Untersuchungen wurden auf eine Basisstation in 1100 m Höhe bezogen, die mit Apparaten zur Registrierung der erdmagnetischen Komponenten ausgerüstet war. Auf dieser Station wurden Ausgangs- und Kontrollmessungen mit Ablen-

kungen und Schwingungen ausgeführt, für welche die in Potsdam gewonnenen Konstanten (einschl. der Bestimmung des Trägheitsmomentes) maßgebend waren. Die höchsten Punkte auf dieser Beobachtungsreise hatten um 3000 Meter Meereshöhe und darüber. Diesem Niveau entspricht eine Druckabnahme von über 300 mb. Gemäß den oben angeführten Betrachtungen entspricht dieser Druckabnahme unter den früher angegebenen Voraussetzungen (M_2) ein $\triangle$ H von rund 5 γ, vorausgesetzt, daß die Horizontalintensität aus den Schwingungsbeobachtungen gewonnen wird. Die vorliegenden Beobachtungen wurden jedoch — wie der Verfasser angibt — mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten der Höhenmessungen ausnahmslos aus den Ablenkungen gewonnen, so daß den Beobachtungen ein dynamisch wirksamer Bestandteil der Luft nicht anhaftet. Lediglich den Ergebnissen der Basisstation mit bezug auf Potsdam von über 1000 Metern Höhendifferenz kann aus den obigen Erwägungen heraus ein $\triangle$ H mit rund 2 γ zugeschrieben werden, ein Betrag, der auf die vorliegenden Feldmessungen mit einer Genauigkeit in H von $\pm 5.3\,\gamma$ ohne Einfluß ist. Würde man jedoch solchen Messungen die Schwingungsbeobachtung zu Hilfe ziehen, so ergäbe die Höhenzunahme einen wachsenden Fehler in der Horizontalintensität (Tabelle 15).

h	$\triangle$ p*)	$\triangle$ H
1000 m	120 mb	1.8 γ
2000 m	220 mb	3.3 γ
3000 m	313 mb	4.7 γ
4000 m	393 mb	5.9 γ

Die Tabelle 15 ist auf die Verhältnisse gegründet, die man für einen Magneten analog der Nachbildung von M_2 erhält. Die Abnahme des Luftdruckes ($\triangle$ p) wurde aus der barometrischen Höhenformel unter der Annahme eines Normaldruckes von 1013 mb (Meeresspiegel) und einer mittleren Temperatur von 0 ° C hergeleitet.

Sella hat — wie W. Brückmann angibt — erdmagnetische Messungen in der Monte Rosa-Gruppe und am Nordrand der lombardischen Ebene mit einer Höhendifferenz von 4000 Metern ausgeführt. Hier würde die an H zu bringende Korrektion bereits rund 6 γ betragen entsprechend der oben aufgeführten Tabelle.

2 a. Wie aus Tabelle 12 ersichtlich ist, bringt die mitschwingende Luft bei verschiedener Schwingungsdauer an ein und demselben Schwingungskörper eine verschieden große Vermehrung des Trägheitsmomentes mit sich. Solche verschiedenen Schwingungs-

*) Gegen Normaldruck 1013 mb bei tm = 0 °C.

dauern treten praktisch bei allen Magneten auf, die zu erdmagnetischen Vermessungsarbeiten benutzt werden, besonders aber bei Polarexpeditionen. Wie schon oben kurz angedeutet, handelt es sich hierbei um die Anschlußmessungen, die in solchen Fällen fast ausnahmslos an der Heimatstation mit erheblich größerem H-Wert vorgenommen werden. Für einen Magneten mit dem magnetischen Moment $M = 800\,\Gamma cm^3$, der im hiesigen Erdfelde von $H = 0.18$ Gauss eine Schwingungsdauer $T_0 = 4.8$ sec. besitzt, verändert sich bei Messungen in Polnähe die Dauer zu $T_1 = 9.1$ sec., in der Umgebung des Äquators zu $T_2 = 3.2$ sec. Das bedeutet aber, das dem Magnetkörper ein verschieden großes zusätzliches Trägheitsmoment der umgebenden Luft sich überlagerte. Legt man nun für das Trägheitsmoment des Magneten in Luft den Wert zugrunde, der aus den Messungen mit $T = 4.8$ sec. ermittelt wurde, so würde sich für die beiden oben genannten Extreme ein Fehler von 2 bzw. 1 γ, also insgesamt von 3 γ in H ergeben.

Ähnliche Veränderungen der Schwingungsdauer treten auch auf, wenn man durch zusätzliche Belastung das Trägheitsmoment eines Magneten bestimmt, eine Messung, die gewöhnlich an demselben Ort zu geschehen pflegt, wo der Magnet seine Verwendung finden soll (Observatorium). Es kommt hier also unter der Voraussetzung, daß der zusätzliche Trägheitsstab keine aus dem Magneten herausragenden Teile besitzt, nur der Fehler durch Änderung von $\triangle K$ durch die verschiedenen Schwingungsdauern in Betracht. Eliminiert man aus den beiden, bei diesem Beobachtungsverfahren zur Verfügung stehenden Beziehungen zwischen den Trägheitsmomenten und den Schwingungsdauern das Trägheitsmoment für den Magneten, so erhält man ein K, das um den Betrag

$$b_1 = \triangle K_{T_{groß}} - \triangle K_{T_{klein}}$$

zu groß ist. Die genaue Bestimmung dieses Betrages müßte in der Weise durchgeführt werden, daß der Magnet bei den beiden Schwingungsdauern mit entsprechender Wahl der Aufhängefäden ohne jede Belastung beobachtet wird. Angewandt auf das oben genannte Beispiel entspräche der Differenz in $\triangle K$ ein Fehler von ca. 4 γ in H.

3. Zu diesem Fall tritt bei Verwendung von Stäben, die aus dem Magneten herausragen, noch des weiteren der Fehler hinzu, der durch die geometrische Vergrößerung des schwingenden Gebildes bedingt ist. Hat der Magnet im belasteten Zustand (große Schwingungsdauer) durch die Lufthülle eine Trägheitsmomentvermehrung $\triangle K_1$, der Trägheitsstab allein aber bei derselben

großen Schwingungsdauer ein $\triangle K_2$, so ist der Fehler für das K des Magneten gegeben durch:

$$b_2 = \triangle K_2 - \triangle K_1.$$

Als Beispiel mögen diese Verhältnisse bei einem Magneten nach Art der Nachbildung von M_2 (Stab 4) und bei einem Trägheitsstab (Nr. 5) untersucht werden. Im hiesigen Erdfeld von H = 0.18 Γ hat ein solcher Magnet (M = 800) eine Schwingungsdauer von ca. 4.8 sec., die bei zusätzlicher Belastung mit einem Stab (Nr. 5) auf T von rund 13 sec. zunimmt. Extrapoliert man nun aus den Kurven die $\triangle K$ beider Stäbe für T = 13 sec, so ergibt deren Differenz ein $\triangle K$ von ca. 1.08 cm ^{2}g. Die Umrechnung nach (2) gibt für den Fehler in H einen Wert von 7 . 4 γ, der also — dem Betrage nach verhältnismäßig hoch in die Rechnung gehend — allein durch die aus dem Magneten hervorragenden Enden verursacht ist.

Vergleicht man die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen — im Hinblick auf das Verhältnis der Wertepaare der einzelnen Meßreihen bei den verschiedenen Drucken — mit der von J. Lamont angegebenen Beziehung[7]), so ist für zylindrische Schwingungskörper mit abgeschlossenen Seitenflächen (z. B. Vollzylinder) im wesentlichen Übereinstimmung festzustellen. Zylindrische Hohlkörper mit offenen Seitenflächen wie die Nachbildung des Potsdamer Magneten M_2 würden jedoch einen größeren Faktor α in der Lamont-Beziehung erforderlich machen, wie sich auch aus dem größeren Trägheitsmoment der dem Hohlkörper anhaftenden Lufthülle ergeben muß.

Die Größe des Fehlers in H, die aus der Bestimmung des Trägheitsmomentes eines Magneten resultiert, dessen Schwingungsdauer unter zusätzlicher Belastung mit einem Trägheitsstab gemessen wurde, gibt W. Watson mit 4.4 γ an. Dieser Fehler deckt sich der Größe nach mit dem aus den vorliegenden Untersuchungen erlangten Wert. Über die Abhängigkeit des Effektes der mitschwingenden Luftmassen von der Schwingungsdauer vermochte Watson wohl in Anbetracht der bei seinen Messungen erlangten Genauigkeit nichts anzugeben, so daß hier keine Vergleiche gezogen werden können.

Betrachtet man die Ergebnisse für die Korrektionen in der Horizontalintensität des erdmagnetischen Feldes im Vergleich zu den Genauigkeiten, mit denen aus praktischen Gründen bei einzelnen Messungen, wie z. B. Beobachtungen, die mit Reiseinstrumenten ausgeführt werden, gearbeitet wird, so scheint die Größenanordnung der Ergebnisse nur um ein Geringes in die Rechnung einzugehen.

---

[7]) $T_p = T_{p_0} \left(1 + \frac{p}{760} \cdot \alpha\right)$; $\alpha = 0.00033$

Dennoch muß diesen Werten eine Realität zugeschrieben werden, die bei exakt durchgeführten absoluten Messungen und besonders solchen, die zu Vergleichen herangezogen werden, nicht unbeachtet bleiben kann. Es bleibt hierbei die Frage offen, ob es nicht nutzbringend ist, an Hand sorgfältig ausgeführter Untersuchungen von Fall zu Fall Korrektionen einzuführen oder aber alle Messungen auf Vakuum zu reduzieren, eine Angelegenheit, die durchaus im Bereich des Ausführbaren liegt.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Laboratorium des magnetischen Observatoriums zu Potsdam durchgeführt. Ich nehme gern die Gelegenheit, Herrn Dr. G. Fanselau, Potsdam, für die Anregungen zu dieser Arbeit sowie für das Interesse und die vielfache Unterstützung, die er mir hat während der Ausführung zuteil werden lassen, zu danken. Ferner danke ich auch dem Direktor des Instituts, Herrn Professor Dr. A. Nippoldt, Potsdam, für die freundliche Überlassung von Raum und Institutsmitteln zur Ausführung der Arbeit.

Potsdam, im April 1935.

Lebenslauf.

Am 6. Dezember 1904 wurde ich, Alexander Burger, als Sohn des Fabrikanten Reinhold Burger und seiner Ehefrau Charlotte, geb. Gruber, zu Berlin-Pankow geboren. Daselbst besuchte ich von Ostern 1911 die Oberrealschule, die ich Ostern 1923 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um mich dem Studium der Naturwissenschaften zuzuwenden. Im Sommer-Semester 1923 bezog ich dann die Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin auf fünf Semester. Wirtschaftliche Gründe veranlaßten mich zur Unterbrechung des Studiums, das ich im Wintersemester 1932 wieder als ordentlicher Studierender der Berliner Universität aufnahm. Hier widmete ich mich den Fächern Philosophie, Physik, Chemie und Geophysik (Meteorologie und Erdmagnetismus), um mein Studium mit einer wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiet des Erdmagnetismus abzuschließen.

Meine Lehrer waren u. a. die Professoren Bartels, Bieberbach, Bodenstein, v. Ficker, Planck, Rieffert, Schlenk und Wehnelt.

Alexander Burger,
cand. phil.